

СПОРТИВНАЯ МЕДИЦИНА

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ И УРОВЕНЬ ЭЛЕКТРОЛИТОВ КРОВИ В МОНИТОРИНГЕ ТЕКУЩЕГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ

*Ф.А. ИОРДАНСКАЯ, Н.К. ЦЕПКОВА (ВНИИФК),
О.Н. ИПАТЕНКО (спортклуб ЦСКА),
В.В. КЛЕЕВ (Центр медицины катастроф), Москва*

Аннотация

Исследовалась связь параметров электрокардиографии (ЭКГ) с уровнем основных электролитов крови – магния, кальция, железа, йода – у спортсменов высокой квалификации. Показано, что при нормальной ЭКГ содержание электролитов крови не отличается от среднего. У молодых спортсменов с нарушением процессов реполяризации миокарда отмечены более частый ритм сердца, более высокие показатели артериального давления (АД); содержание магния и железа в крови на нижней границе нормы. Ухудшение реакции ЭКГ после велоэргометрии также отмечалось у более молодых спортсменов и сопровождалось снижением содержания в крови магния и фосфора. Сделан вывод, что профилактика возникновения возможных нарушений в работе сердца состоит в своевременной диагностике нарушений ЭКГ, экспресс-диагностике уровня электролитов крови и приеме сбалансированного состава минералов и микроэлементов.

Abstract

The interrelations between ECG parameters and most abundant blood electrolytes (Mg, Ca, Fe, I) in high level athletes has been studied. It is shown that when ECG is normal, electrolyte levels are also in normal range. In young athletes with myocardium repolarization abnormalities, more rapid pulse and arterial pressure are observed, Mg and Fe levels being at lower normal range. ECG abnormalities after veloergometry with Mg and P levels decrease has been observed in young athletes. It is concluded that best prophylactic methods for cardiac dysfunction are; timely diagnostic of ECG abnormalities, express-diagnostic of blood electrolyte levels and nutritional support with balanced mineral formula.

Ключевые слова: электрокардиография (ЭКГ), электролиты, спортсмены высокой квалификации.

Одной из ведущих систем организма в обеспечении высокой работоспособности у спортсменов является сердечно-сосудистая система (Н.Д. Граевская, 1995). Существует зависимость между величиной ударного объема кровотока и производительностью сердца, а также максимальной аэробной мощностью (Ф.З. Меерсон, М.П. Пшеникова, 1988). С этих позиций систему кровообращения можно рассматривать как одно из глав-

ных звеньев в системе транспорта кислорода при обеспечении максимальной работоспособности (И.В. Аулик, 1979; В.Л. Карпман, Б.Г. Любина, 1983). Важную роль в обеспечении высокой работоспособности играет состояние сосудистого тонуса (В.В. Васильева и др., 1986). Несоответствие фактического периферического сопротивления должному приводит к повышению артериального давления (АД), изменению упруго-эластических

свойств сосудов, коронарного кровотока и других изменений (Н.В. Мухарлямов, 1987; А.Г. Дембо, Э.В. Земцовский, 1989).

К ранним признакам дизадаптации сердечно-сосудистой системы, как показал проведенный нами анализ (Ф.А. Иорданская, М.С. Юдинцева, 1996), относятся жалобы на нарушения сердечной деятельности, транзиторная гипертония, появление нарушений на ЭКГ в покое и после нагрузки. При анализе ЭКГ у 632 спортсменов были выявлены следующие нарушения: резко выраженная синусовая аритмия – 4,9%; миграция водителя ритма – 0,5%; эктопический ритм – 1,8%; СА и АВ-блокады – 1,9%; нарушение процессов реполяризации миокарда – 13,7%.

Необходимо подчеркнуть, что частота нарушений ЭКГ различна у спортсменов разных групп двигательной деятельности, возраста и пола. Обращает на себя внимание в последние годы увеличение частоты нарушений ритма сердца, по-видимому, в связи с увеличением стрессорных нагрузок в тренировках и увеличением объема соревновательных нагрузок (Э.В. Земцовский, 1990, и др.).

Сердечной клетке свойственны три основных электрофизиологических состояния: *покой* (диастола или поляризация), *активизация* (деполяризация) и *возвращение в состояние покоя* (реполяризация). В диастолу (фаза 4) сердечная клетка обладает отрицательным зарядом (80–90 мВ) – потенциалом покоя, который создается за счет разницы концентрации ионов калия внутри и вне клеток (внутриклеточное содержание ионов калия превышает внеклеточное в 30 раз). В период покоя клеточная мембрана непроницаема для ионов натрия. В фазу активации (фаза 0) потенциал покоя несколько снижается до порогового уровня, а затем быстро становится положительным (30 мВ) за счет быстрого поступления ионов натрия в клетку. Затем клетка возвращается в фазу покоя. В фазу ранней быстрой реполяризации (фаза 1) в клетку поступают ионы хлора, в фазу медленной (фаза 2) – ионы натрия, а в фазу поздней реполяризации (фаза 3) происходит интенсивный отток ионов калия из клетки. На ЭКГ фазам 0–3 соответствует комплекс ORST (систола), а фазе 4 – отрезок T–Q (диастола).

Причинами аритмии могут быть: 1) нарушение автоматизма или образование импульсов; 2) нарушение проведения импульса; 3) их сочетание (Ю.Б. Белоусов, В.С. Моисеев, В.К. Лепехин, 1993). Замедление фазы 4 ведет к нарушению автоматизма (синусовая тахикардия, асистолия, экстрасистолия).

Нарушение проводимости является более частой причиной возникновения аритмии, включая в себя замедление или блокаду проведения импульса, а также возврат возбуждения и однонаправленную блокаду (атриовентрикулярная блокада, блокада ножки пучка Гиса, пароксизмальная тахикардия) (И.И. Исакова, М.С. Кушаковский, Н.Б. Журавлева, 1984).

Существуют также два коротких периода, во время которых возбудимость сердца резко повышена. На ЭКГ

им соответствует конечная часть зубца T и зубец I. В этот период потенциал действия могут вызвать даже очень слабые раздражители.

В динамике ударных тренировочных микроциклов при нарастании утомления появляется отрицательная динамика показателей Соколова-Лайона ЭКГ и переход положительного зубца T₂ в двухфазный, или отрицательный, при проведении ортопробы.

В клинической кардиологии описаны изменения ЭКГ при нарушении электролитного обмена (В.Н. Орлов, 1999). Это касается изменения ЭКГ при гипер- и гипокалиемии, гипер- и гипокальциемии, гипер- и гипомagneзиемии, а также при ацидозе и алкалозе. Алкалоз может вызывать перемещение калия из внеклеточной жидкости во внутриклеточное пространство. При ацидозе гиперкалиемия развивается в результате перемещения калия из внутриклеточного пространства во внеклеточную жидкость. Гиперкалиемия на ЭКГ характеризуется высоким или пикообразным зубцом T и уширением комплекса QRS.

Предельная физическая нагрузка как стрессовая ситуация оказывает существенное влияние на уровень электролитов крови (А.Я. Цыганенко, В.И. Жуков, В.В. Мясоедов, 2002, и др.). Изучение состояния электролитного обмена крови у велосипедистов в процессе работы околопредельной мощности показало, что наиболее значительно изменилось содержание в крови неорганического фосфора и железа (повышение), а также калия (понижение) (Н.К. Цепкова, 2004).

При средних физических нагрузках организм выделяет от 0,5 до 1,0 л пота в час. При интенсивных нагрузках и жаре – более 3 л пота в час. Пот содержит не только воду, но и электролиты. Наряду с такими минералами, как натрий, калий, кальций, магний, фосфор и хлор, выделяются и важные микроэлементы – железо и йод. Тренированные спортсмены потеют больше, чем нетренированные. У тренированных больше потовых желез, чем у людей, далеких от спорта. Кроме того, у спортсменов потовые железы работают более интенсивно. В то же время концентрация минералов и микроэлементов в поте спортсменов-профессионалов меньше, чем спортсменов-любителей. Профессионалы лучше умеют «разбавлять» пот, таким образом удерживая важные минеральные вещества в организме.

Для организма одинаково важны все минеральные вещества, но в организме спортсменов иногда встречается дефицит некоторых минералов. К таким «минералам риска» относятся в первую очередь железо и йод, а также магний и кальций. В поте концентрация магния и кальция выше, чем в крови. Из 1 л пота выделяется 0,7–1,2 миллиграмма железа и 42 микрограмма йода. Это соответствует 60–70% количества железа, ежедневно поступающего в организм с пищей, а также 25% рекомендуемого и 50% среднего потребления йода.

Цель настоящей работы – изучить взаимосвязь показателей ЭКГ спортсменов с уровнем электролитов крови.

Методика исследования:

- врачебный осмотр;
- измерение пульса и АД;
- расчет вегетативного индекса;
- регистрация ЭКГ в 12 отведениях в исходном состоянии, в процессе ортопробы и после велоэргометрического тестирования;
- исследование электролитов крови: натрий, калий, хлор, железо, магний, неорганический фосфор, кальций с использованием аппаратуры фирм «Вауег» (Англия) и «Konelab» (Финляндия).

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования проводились в группе высококвалифицированных спортсменов (21 мастер спорта) в возрасте от 17 до 28 лет (средний возраст 23,7 года) со стажем занятий спортом свыше 10 лет.

В исходном состоянии частота сердечных сокращений (ЧСС) у 12 спортсменов характеризовалась брадикардией (40–57 уд./мин), у 3-х спортсменов составила 82–84 уд./мин, у остальных была в пределах 60–74 уд./мин.

АД у 10 спортсменов было в пределах нормы (115–120/70–80 мм рт. ст.); у 6 – АД составило 130–135/80 мм рт. ст.; у 5 – было повышенным 140–150–180/70–95 мм рт. ст. (табл. 1).

Вегетативное обеспечение работоспособности почти у всех спортсменов (18 человек) происходило по экономическому – парасимпатическому типу и лишь у 3 – по симпатическому типу регуляции.

ЭКГ в исходном состоянии у 10 спортсменов была в пределах нормальных значений и физиологической нормы, при которой у 6 человек имела место неполная блокада правой ветви пучка Гиса, у 5 – симптом ранней реполяризации, у 1 – симптом укороченного PQ (СѐС).

Нарушение показателей ЭКГ выражалось:

– в нарушении ритма у 3 человек: у 1 – миграция водителя ритма, у 1 – ниже-предсердный ритм, у 1 – желудочковая экстрасистолия;

– в нарушении процессов реполяризации миокарда левого желудочка у 8 спортсменов (нижнего отдела – 6 человек, ниже-бокового – 1; межжелудочковой перегородки – 1).

Таким образом, в исходном состоянии у 11 человек отмечались нарушения в работе сердца. При этом у 5 из них определялись сниженные показатели Соколова-Лайона (от 6,6 до 16,6%), указывая на явления гипоксии миокарда.

В реакции на велоэргометрическую нагрузку у 11 спортсменов определялись адекватные выполненной работе изменения; у 1 – определяемые в исходном состоянии нарушения сохранялись и после велоэргометрической нагрузки; 6 – велоэргометрическая нагрузка усугубила нарушения, выявленные в исходном состоянии; 3 – после велоэргометрической нагрузки на ЭКГ появились нарушения, не определяемые в исходном состоянии (табл. 2, рис. 1, 2, 3).

Анализ состояния показателей электролитного обмена крови показал, что средние данные по группе находятся в пределах нормальных значений (табл. 2). Поэтому даль-

нейший анализ показателей электролитного обмена проводился с учетом результатов и характера изменений ЭКГ.

По показателям ЭКГ в исходном состоянии спортсмены были разделены на три группы (табл. 2) из:

- 11 человек с нормальными показателями ЭКГ;
- 8 – с нарушением процессов реполяризации;
- 3 – с нарушением ритма сердца.

Таблица 1

Уровень АД у обследованных спортсменов в соответствии с рекомендациями ВОЗ и Международного общества по артериальной гипертензии (ВОЗ/МОАГ, 1999 г.)

Категория	Систолическое давление, мм рт. ст.	Диастолическое давление, мм рт. ст.	Обследованные спортсмены (21 человек)	
			количество	%
Оптимальное	<120	<80	10	47,6
Нормальное	<130	<85	2	9,5
Высокое нормальное	130–139	85–89	4	19,0
Степень 1	140–159	90–99	4	19,0
Степень 2	160–179	100–109		
Степень 3	≥180	≥110	1	4,8

Примечание. Если систолическое и диастолическое давление находятся в разных категориях, то присваивается более высокая степень.

Как видно из таблицы, показатели электролитного обмена у спортсменов с нормальной ЭКГ были близки к средним данным по всей группе. Обращает на себя внимание группа спортсменов с нарушением процессов реполяризации миокарда: это были более молодые спортсмены с более частым ритмом сердца, более высокими показателями АД и содержанием магния и железа в крови на нижней границе нормы. Нарушение ритма сердца чаще отмечалось у более старших спортсменов. Ухудшение реакции ЭКГ после велоэргометрии также отмечалось у более молодых спортсменов и сопровождалось снижением содержания в крови магния и фосфора.

Индивидуальный анализ показателей электролитного обмена крови с учетом деления их на два уровня (в пределах нормы и ниже нижней границы нормы) и характера изменения ЭКГ выявил тенденцию в несколько большей частоте снижения калия, магния и фосфора (ниже нижней границы нормы) у спортсменов с нарушением процессов реполяризации миокарда (табл. 3).

Показатели ЭКГ и электролитов крови у спортсменов

Показатели	Средние значения группы (n=21)	ЭКГ норма (n=10)	Нарушения реполяризации (n=8)	Нарушения ритма (n=3)	ЭКГ в ортопробе		ЭКГ при в/эргометрии	
					адекватная реакция (n=13)	неадекватная реакция (n=8)	адекватная реакция (n=11)	ухудшенная реакция (n=6)
Возраст	23,7	23,6	22,8	26,3	24,0	23,0	24,8	22,5
ЧСС уд./мин	59,2	54,2	66,8	55,7	58,1	61,0	56,5	62,8
АД систол.	130	125	137,5	126,7	130,0	130,0	125,5	131,7
АД диастол.	74,8	74,0	78,0	68,3	74,0	76,0	72,3	77,5
Натрий	146,1	145,9	147,0	144,0	145,6	147,0	145,1	147,2
Калий	3,97	4,00	3,90	4,00	3,92	4,04	3,91	3,96
Хлор	107,0	107,5	106,0	106,0	107,0	106,5	107,0	106,5
Кальций общ.	2,56	2,52	2,6	2,61	2,54	2,61	2,53	2,61
Железо	19,0	16,8	20,9	22,0	17,0	22,5	18,9	20,5
Магний	0,81	0,82	0,80	0,81	0,82	0,81	0,81	0,80
Фосфор	1,18	1,17	1,13	1,34	1,14	1,24	1,20	1,15

Таблица 3

Показатели ЭКГ у спортсменов в зависимости от уровня электролитов крови

Показатели (ммоль/л)	ЭКГ в покое, %			ЭКГ в ортопробе, %		ЭКГ после в/эргометрии, %			АД мм рт. ст.	ЧСС уд./мин	Возраст, лет	
	норма	нарушения реполяризации миокарда	нарушения ритма	нормальная реакция	неадекватная реакция	норма	сохранение изменений	ухудшение нарушений				
Калий	< 4,0	36,4	45,4	18,2	72,7	27,3	63,6	9,1	27,3	129,5/72,1	62,0	23,7
	> 4,0	60,0	30,0	10,0	50,0	50,0	40,0	30,0	30,0	130/50	56,1	23,6
Магний	< 0,81	40,0	40,0	20,0	50,0	50,0	50,0	10,0	40,0	127,5/71,5	57,7	24,3
	> 0,81	54,5	36,4	9,1	72,7	27,3	54,5	9,1	18,2+18,0	132,2/73,2	60,5	23,0
Кальций	< 2,57	55,6	33,3	11,1	77,8	22,2	66,7	11,1	22,2	128,9/73,5	61,1	23,2
	> 2,57	41,7	41,7	16,6	50,0	50,0	41,7	?	33,3+25,0	130,8/75,8	57,8	24,0
Железо	< 19,0	63,6	27,3	9,1	81,8	18,2	54,5	9,1	18,2+18,0	128,6/75,5	56,2	23,5
	> 19,0	30,0	50,0	20,0	40,0	60,0	50,0	?	40,0+10,0	131,5/74	62,4	23,9
Фосфор	< 1,18	45,5	45,5	9,0	72,7	27,3	45,4	9,1	9,1+ 36,4	141/76,4	63,2	23,5
	> 1,18	50,0	30,0	20,0	50,0	50,0	60,0	?	20,0+20,0	123/73	54,8	23,8

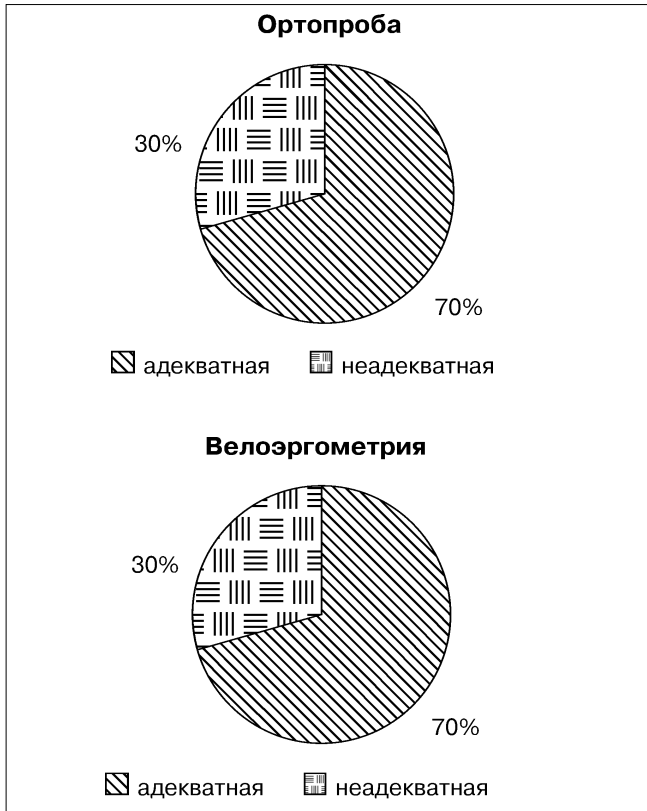


Рис. 1. Реакция ЭКГ на нагрузку у спортсменов с нормальной ЭКГ в условиях покоя (n=10)

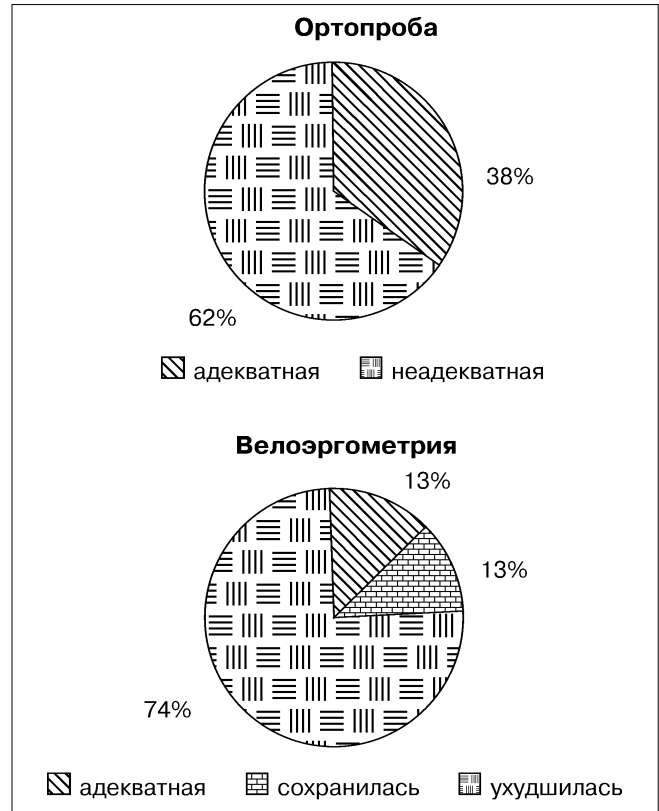


Рис. 3. Реакция ЭКГ на нагрузку у спортсменов с нарушениями процессов реполяризации миокарда (n=8)

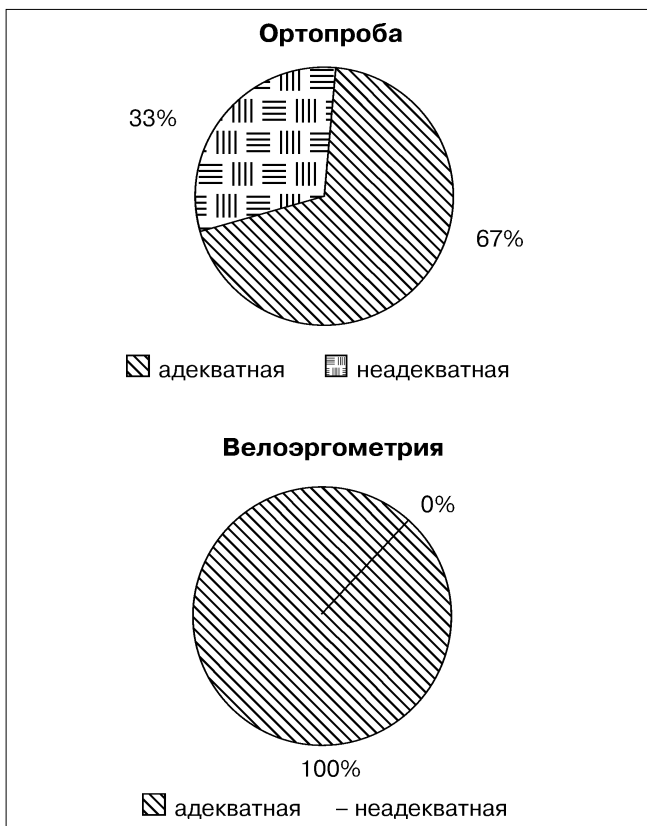


Рис. 2. Реакция ЭКГ на нагрузку у спортсменов с нарушениями ритма (n=3)

В качестве примера приводим данные трех спортсменов.

Спортсмен Г., 26 лет, мастер спорта – на ЭКГ (рис. 4) нарушение процессов реполяризации нижней стенки миокарда левого желудочка дистрофического генеза с ухудшением состояния миокарда ниже-боковой стенки после велоэргометрии. Показатели электролитного обмена: натрия, калия, железа, кальция и магния ниже нижней границы нормы (см. рис. 7).

Спортсмен К., 26 лет, мастер спорта – на ЭКГ (рис. 5) умеренные изменения миокарда ниже-боковой стенки левого желудочка при ухудшении процессов реполяризации миокарда нижней стенки левого желудочка после велоэргометрии. Показатели электролитного обмена: натрия, хлора, фосфора и магния ниже нижней границы нормы (см. рис. 7).

Спортсмен Т., 21 год, мастер спорта – на ЭКГ (рис. 6) изменения миокарда нижней стенки левого желудочка, вероятно дистрофического генеза, с ухудшением реполяризации миокарда нижней стенки левого желудочка в ортопробе. Показатели электролитного обмена: калия, хлора, магния, фосфора и магния ниже нижней границы нормы (см. рис. 7).

Таким образом, как показали результаты исследований (сопоставление нарушений ЭКГ у спортсменов с изменением уровня показателей электролитного обмена крови), установлена некоторая взаимосвязь нарушения процессов реполяризации миокарда со снижением кон-

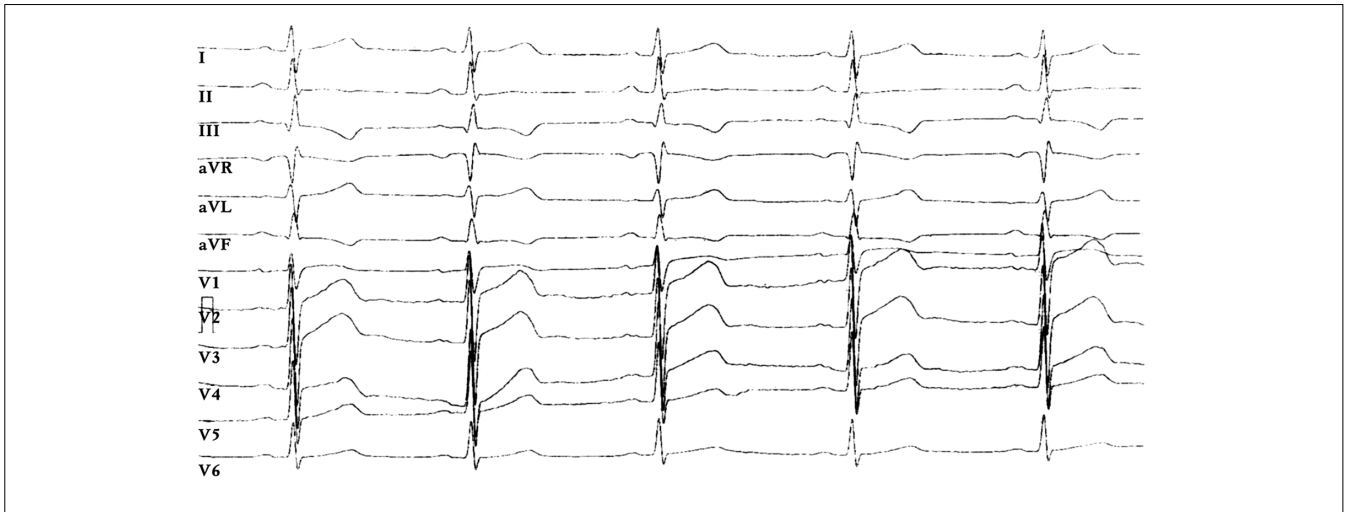


Рис. 4. ЭКГ спортсмена Г.

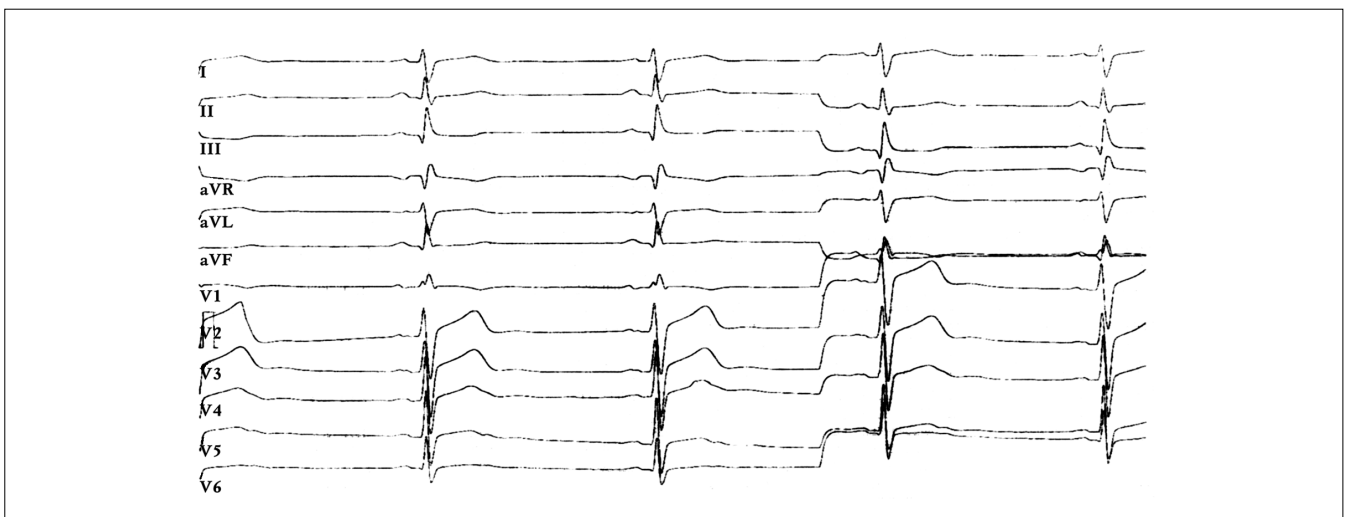


Рис. 5. ЭКГ спортсмена К.

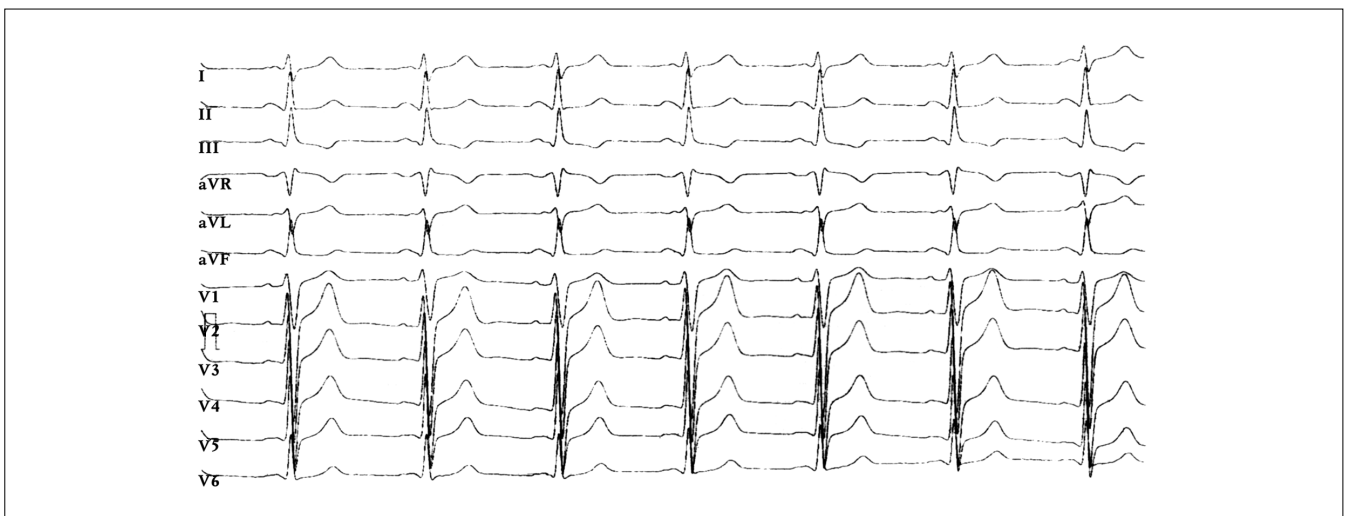


Рис. 6. ЭКГ спортсмена Т.

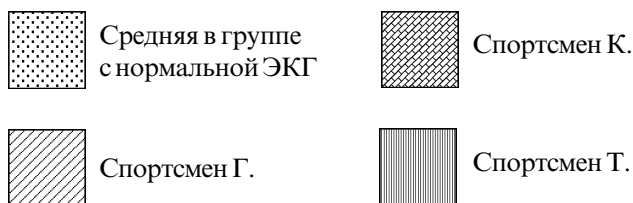
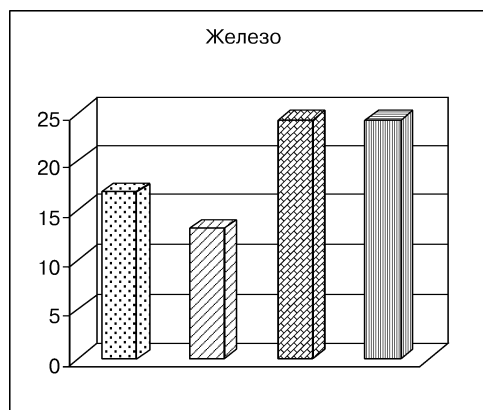
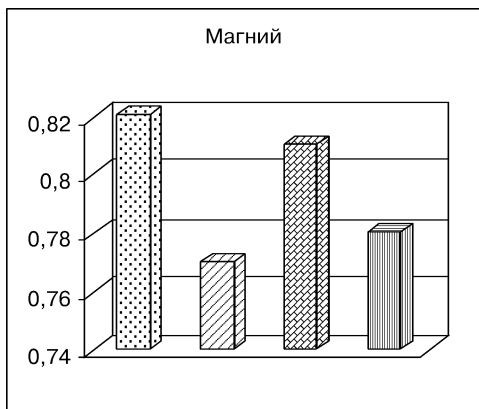
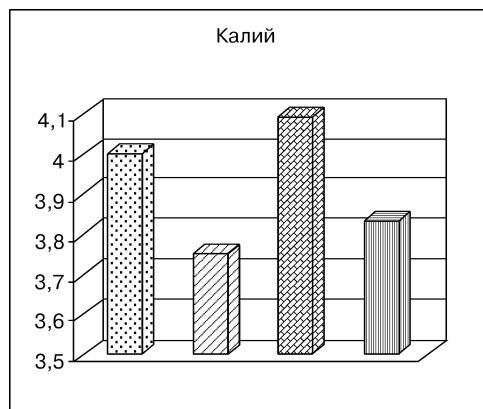
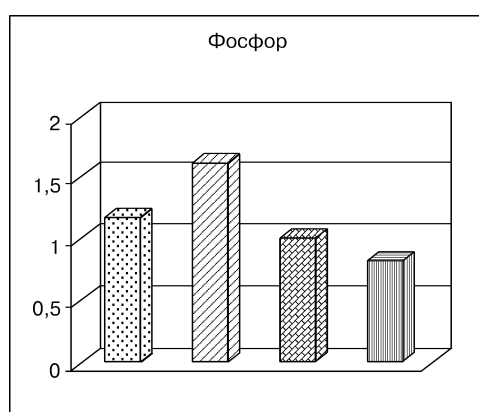
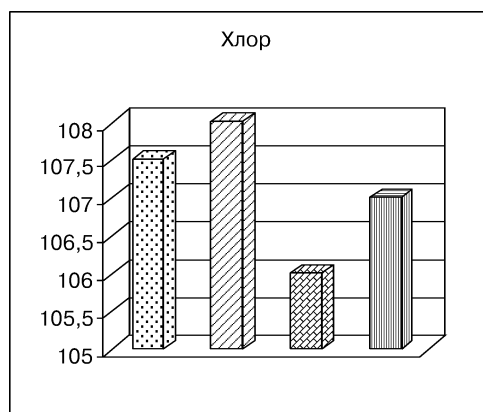
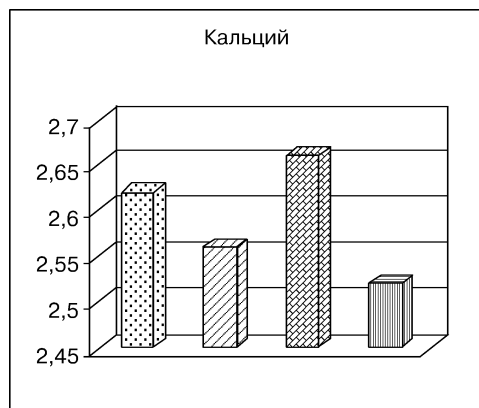
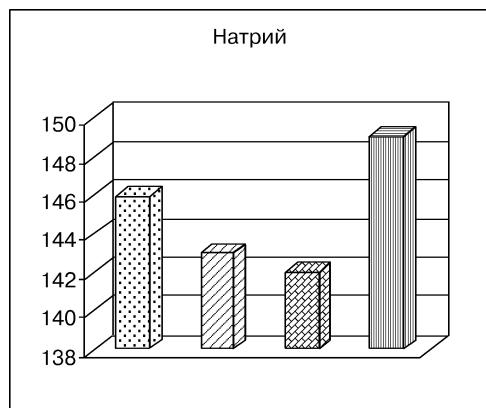


Рис. 7. Показатели электролитов крови у спортсменов с нарушением ЭКГ и средние данные по группе спортсменов с нормальной ЭКГ

центрации таких электролитов в крови, как калий, натрий, магний и кальций.

Все фазы реполяризации потенциала действия определяются, с одной стороны, временем или быстротой инактивации направленного внутрь клетки натрий-кальциевого тока, а с другой стороны – плотностью выходящего из клетки калиевого тока. Различные вещества, воздействующие на проводимость кальциевых, натриевых и калиевых каналов мембраны миокардиальной клетки, регулируют плотность и длительность ионных токов и тем самым изменяют форму и уровень сегмента RS-T и зубца T ЭКГ (И.И. Исаков, М.С. Кушаковский, Н.Б. Журавлева, 1984).

Прохождение ионов натрия и кальция через мембраны контролируется помимо многих других механизмов также нейrogормонами и, в первую очередь, катехоламинами. Эти процессы могут проходить асинхронно в различных слоях миокарда, что является электрофизиологическим обоснованием большой лабильности сегмента RS-T и зуб-

ца T в процессе тренировочных нагрузок разного объема и интенсивности (Л.С. Бутченко, В.Л. Бутченко, 1984).

Выводы

Изучение характера ЭКГ и уровня электролитов крови в мониторинге текущего функционального состояния спортсменов выявило определенную взаимосвязь нарушений процессов реполяризации миокарда со снижением концентрации некоторых электролитов крови, ответственных за формирование фаз реполяризации сердечного цикла и потенциала действия прохождения ионов через каналы мембраны миокардиальных клеток.

Следовательно, профилактика возникновения возможных нарушений в работе сердца состоит, с одной стороны, в своевременной диагностике ЭКГ нарушений и экспресс-диагностике уровня электролитов крови; с другой стороны – во включении в программу восстановительных мероприятий сбалансированного состава минералов и микроэлементов.

Литература

1. Бутченко Л.А., Бутченко В.Л. Варианты нормы сегмента RS-T электрокардиограммы спортсмена // Теория и практика физической культуры, 1984. – № 11. – С. 40–42.
2. Граевская Н.Д. Влияние спорта на сердечно-сосудистую систему. – М.: Медицина, 1975. – 277 с.
3. Дембо А.Г., Земцовский Э.В. Спортивная кардиология. – Л.: Медицина, 1989. – 138 с.
4. Иорданская Ф.А., Юдинцева М.С. Диагностика и функциональная коррекция симптомов дизадаптации к нагрузкам современного спорта и комплексная система мер их профилактики // Теория и практика физической культуры, 1999. – № 1. – С. 18–25.
5. Исаков И.И., Кушаковский М.С., Журавлева Н.Б. Клиническая электрокардиография. – Л.: Медицина, 1984.
6. Карпман В.Л., Любина Б.Г. Динамика кровообращения у спортсменов. – М.: ФиС, 1989. – 135 с.
7. Меерсон Ф.З., Пиенникова М.П. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. – М.: Медицина, 1988. – 250 с.
8. Мухарьямов Н.В. Кардиомиопатия. – М.: Медицина, 1991. – 258 с.
9. Назаренко Г.И., Кишкун А.А. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований. – М.: Медицина, 2000. – 540 с.
10. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии. – М., 1999. – 524 с.
11. Цепкова Н.К. Показатели электролитов крови у велосипедистов // Вестник спортивной науки, 2004. – № 1(3). – С. 30–35.
12. Цыганенко А.Я., Жуков В.И., Мясоедов В.В., Загородний И.В. Клиническая биохимия. – М.: Триада-Х., 2002. – 496 с.
13. Юдинцева М.С. Диагностика и средства направленной коррекции симптомов дизадаптации к нагрузкам у высококвалифицированных спортсменов: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 2002. – 24 с.